

# 夏季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的数值模拟

杨 修 群

谢 倩

黄 士 松

(南京大学大气科学系)

(空军气象学院气象系)

(南京大学大气科学系)

**摘 要** 利用菱形截断15波的9层全球大气环流谱模式设计了若干数值试验,分别研究了赤道中东太平洋海温偏暖、北极不同区域海冰偏多以及海温偏暖同时海冰偏多对夏季北半球大气环流的影响,结果表明北极海冰偏多和赤道中东太平洋海温偏暖,对夏季北半球大气环流具有同等效应,海冰和赤道海温任何一方的变异均可显著影响大气环流,其中亚洲-北美型和欧亚型遥相关是极冰和赤道海温影响北半球夏季大气环流异常的主要动力学途径.本文结果再一次证实了赤道和极地之间的热力差是决定大气环流的最基本因子.

**关键词** 太平洋海温 北极海冰 热力差 数值模拟

## 前 言

大气下垫面热力状况异常是造成短期气候异常的重要原因之一,而与 ENSO 相联系的赤道海温作用更受到人们广泛的注意. ENSO 现象在大气年际变化过程中呈现出最强信号,它确实成功地解释了大气异常的诸多方面,然而,观测分析表明,非埃尔尼诺年或反埃尔尼诺年大气也会出现很强的异常型<sup>[1]</sup>,这表明大气环流的异常不能仅仅归因于埃尔尼诺事件.早在50年代黄士松<sup>[2]</sup>曾指出,大气环流根本上是由赤道和极地之间由于太阳辐射造成的热力差异所启动.因此,研究大气环流或短期气候异常的成因就必须同时考察赤道热源和极地热汇的异常状况.

最近,在与热源相联系的赤道海温以及与热汇相联系的极地海冰异常共同对大气环流的影响的研究方面已经取得不少有意义的结果,例如,谢倩和黄士松<sup>[3]</sup>等较全面地从观测分析和数值试验两方面研究了赤道海温和北极海冰异常对冬季大气环流的影响,指出极冰的异常不仅可以引起冬季大气产生显著的环流异常型(如 PNA、EU 型等)响应,而且和赤道海温具有同等重要的作用.因此,与赤道海温相比极冰的气候效应确须引起足够的重视.

上述研究仅集中于北半球冬季,本文将主要利用 GCM 数值试验研究赤道中东太平洋海

温和北极不同区域海冰面积异常对夏季北半球大气环流的影响及其机制.

## 1 模式和试验方案

本文使用的模式是由 Bourke 等<sup>[4]</sup>在澳大利亚数值气象中心(原 ANMRC)发展起来的. 后经 Simmonds<sup>[5]</sup>和林元弼<sup>1)</sup>进行改进的一个包含较为完善物理过程的菱形截断15波的9层全球大气环流谱模式, 其详细介绍可参阅上述文献. 在模式的物理过程计算中, 雪盖和海冰覆盖的分布取7月份气候平均值, 并考虑其随经纬度变化, 从而决定其反照率. 大气的外强迫参数如太阳高度角和 SST 分布均固定在7月份. 陆地和冰雪表面温度由热平衡方程确定, 其中出入海冰的热传导根据 Holloway 和 Manabe<sup>[6]</sup>的方法求得.

本文共运行了7个数值试验, 试验代号和内容如表1所示, 其中 CESST (+) 表示赤道中东太平洋海温偏暖, 其距平取法同文献 [3], 北极海冰分为 I、II、III、IV 四个区, 分别对应于 160°E~180°~110°W, 110°~20°W, 70°~160°E 和 20°W~70°E, 其中 IV 区包括格陵兰海、挪威海和巴伦支海等, 统称为北大西洋极冰, I 区包括白令海及其以北极区, 统称为北太平洋极冰, II 区包括巴芬湾和哈得孙湾, “+”表示极冰面积偏多, 其异常大小取自观测到的北极冰面积年际变化的极端值<sup>[7]</sup>, 极冰异常分布见图1所示. 初始场取模式在7月气候条件下运行若干天后的某一天场, 由此不改变任何条件进行积分的试验称为控制试验 (CNTRL), 改变极冰或海温状况后平行于控制试验进行积分的试验称为异常试验 (ANOM). 每个试验均积分 60d, 取后 30d 平均场进行分析, 并用异常试验减去控制试验的差值来表示大气的响应, 本文将给出上述若干试验的结果, 进而分析赤道中东太平洋海温和北极不同区域海冰面积异常对夏季北半球大气环流的影响.

表1 试验代号和内容 (+表示正异常)

代号	CESST	IV 区海冰	I 区海冰	II 区海冰
CNTRL				
ANOM1	+			
ANOM2		+		
ANOM3	+	+		
ANOM4			+	
ANOM5	+		+	
ANOM6				+

## 2 试验结果分析

对北半球夏季大气环流异常及其成因研究近年来已经取得不少进展, Nitta<sup>[8]</sup>和黄荣辉等<sup>[9]</sup>较早地揭示了从东亚到北美存在一遥相关型. 后来的研究表明北半球夏季主要存在4种遥相关型<sup>2)</sup>, 主要的是亚洲-北美型和欧亚型, 特别是前者被认为与菲律宾对流活动<sup>[8,9]</sup>以及越赤

1) 林元弼. 南京大学大气科学系大气环流实验. 1987.

2) 杨修群. 北半球夏季位势高度场遥相关型的观测研究. 1989.

道气流<sup>[10]</sup>异常有重要联系. 因此, 赤道海温和北极冰异常是否会通过上述遥相关过程影响夏季大气环流的异常呢?

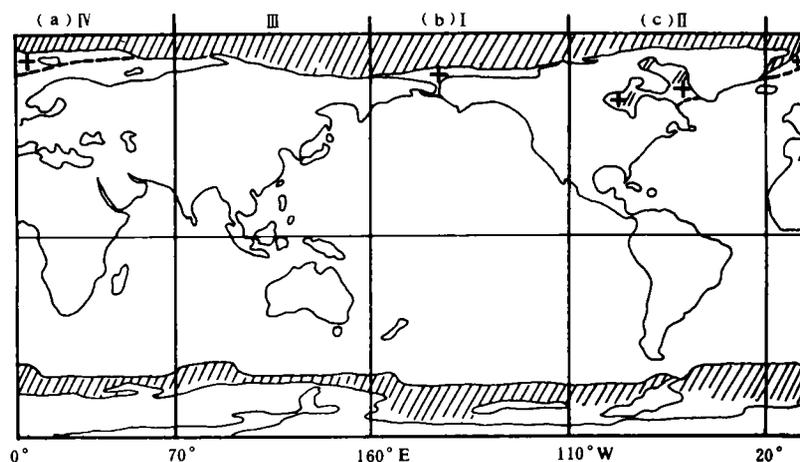


图1 北极海冰异常分布

(a) 海冰Ⅳ区 (b) 海冰Ⅰ区 (c) 海冰Ⅱ区, 其中阴影区为控制试验中极冰分布, 粗虚线包围的区域为各区海冰异常的范围 (+表示极冰偏多)

## 2.1 CESST 偏暖 (ANOM1) 试验

夏季大气环流的基本结构和冬季有很大差别, 从而决定了夏季大气对外强迫的响应与冬季有很大不同. 图2给出了大气对赤道中东太平洋海温偏暖响应的200hPa 高度场距平, 可见此时与冬季类似的是在热带太平洋地区大气产生一明显的反气旋响应, 并且这一反气旋响应一直沿太平洋西伸至东亚低纬沿海, 与冬季明显不同的是大气的响应在太平洋-北美地区不再有PNA 型波列出现, 而显著的波列型是起源于东亚影响到北美的波列, 即南海附近的高中心、我国北方的低中心、鄂海附近的高中心、东西伯利亚的低中心、阿拉斯加的高中心和美国东南部的低中心, 这支波列十分类似于观测分析揭示的亚洲-北美型遥相关. 由此可见, 赤道中东太平洋海温偏暖通过这一遥相关过程直接引起夏季北半球大气环流特别是东亚大气环流 (包括我国天气气候) 异常.

## 2.2 Ⅳ区海冰偏多 (ANOM2) 试验

图3给出了Ⅳ区海冰偏多引起的夏季北半球200hPa 高度场异常, 由图可见, 在极冰偏多的格陵兰海上空为一明显的负高度场异常, 即200hPa 等压面显著降低, 这一特征清楚地反映了由于极冰偏多造成的对流层降温引起的大气局地响应. 由局地响应的低中心指向东亚低纬有一明显的欧亚型波列产生, 这一波列直接影响我国东部及其沿海地区天气气候, 使这一地区高层产生反气旋环流异常. 与此同时, Ⅳ区极冰偏多也在亚洲-北美地区激发波列产生, 特别是在阿拉斯加北部地区表现出最大振幅异常, 这一波列在位相上基本和图2中由赤道海温异常激发的波列类似, 尽管活动中心地理位置仍存在一些差异. 这表明, Ⅳ区极冰偏多除了激发

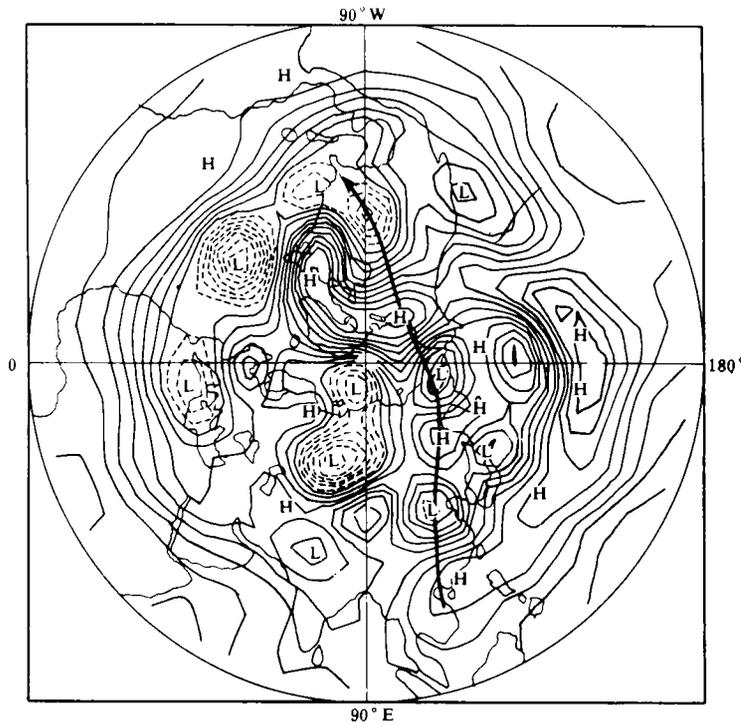


图2 赤道中东太平洋海温偏暖引起的200hPa 高度场异常分布  
等值线间隔为20m, 虚线表示负值, 和虚线相邻的第一根实线为零线, 下同

欧亚型引起我国天气气候异常外, 在亚洲-北美地区和赤道中东太平洋海温偏暖具有一致效应, 甚至在个别地区极冰的效应更为强烈.

### 2.3 CESST 偏暖、IV 区极冰偏多 (ANOM3) 试验

当赤道中东太平洋海温偏暖, 同时 IV 区海冰偏多时大气的异常由二者的共同效应所致. 由图4可见, 在200hPa 高度场上大气的异常仍然主要表现为两支波列, 即欧亚型和亚洲-北美型, 其中欧亚型主要为 IV 区极冰偏多激发产生, 格陵兰海上空仍然表现为明显的降温, 但此时亚洲-北美型波列和图2、图3比较可知应是赤道海温和 IV 区极冰的异常共同所致, 特别是这支波列在中高纬度的活动中心振幅比单独由海温异常引起的波列中心振幅 (图2) 有明显的增强.

### 2.4 I 区极冰偏多 (ANOM4) 试验

图5给出了 I 区极冰偏多引起的200hPa 高度场异常, 可见 I 区海冰偏多产生的局地响应除在低层使白令海附近降温外 (图略), 高层的降温位于海冰异常区上空的偏西处, 即在鄂海东部200hPa 等压面有明显的降低, 并由此指向美国南部产生一波列, 最大振幅位于阿拉斯加北部, 使得200hPa 温度在这一地区显著升高, 而在加拿大北部降低、北美中部升高. 同时, 我们也注意到, I 区极冰偏多也使得我国东部沿海、日本等地区高度场为负异常响应, 即200hPa 温度偏低.

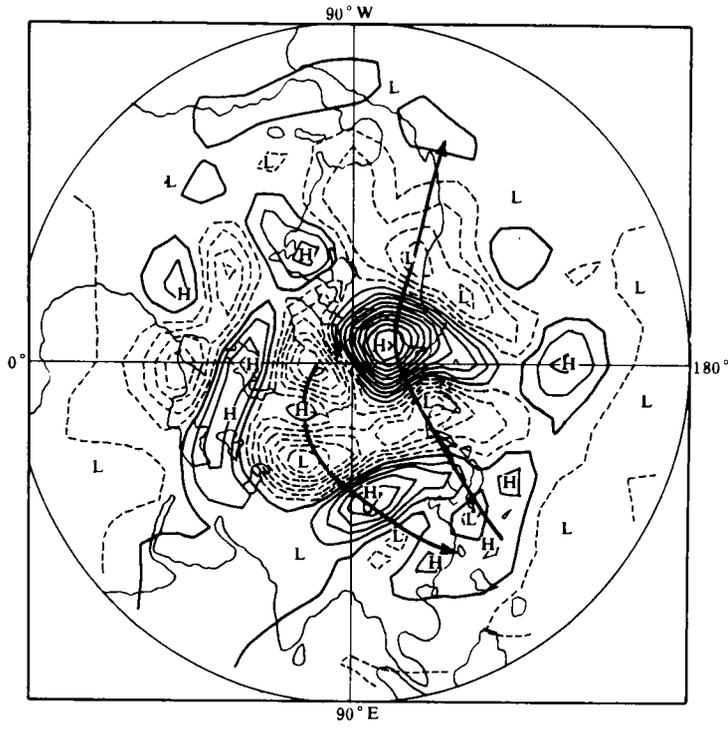


图3 N区极冰偏多引起的200hPa 高度场异常分布

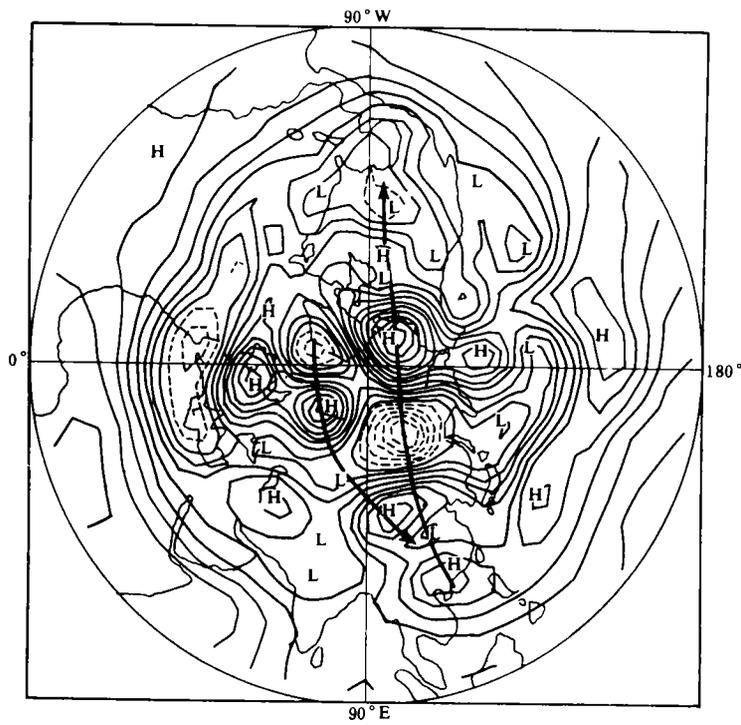


图4 CESST 偏暖和N区极冰偏多引起的200hPa 高度场异常分布

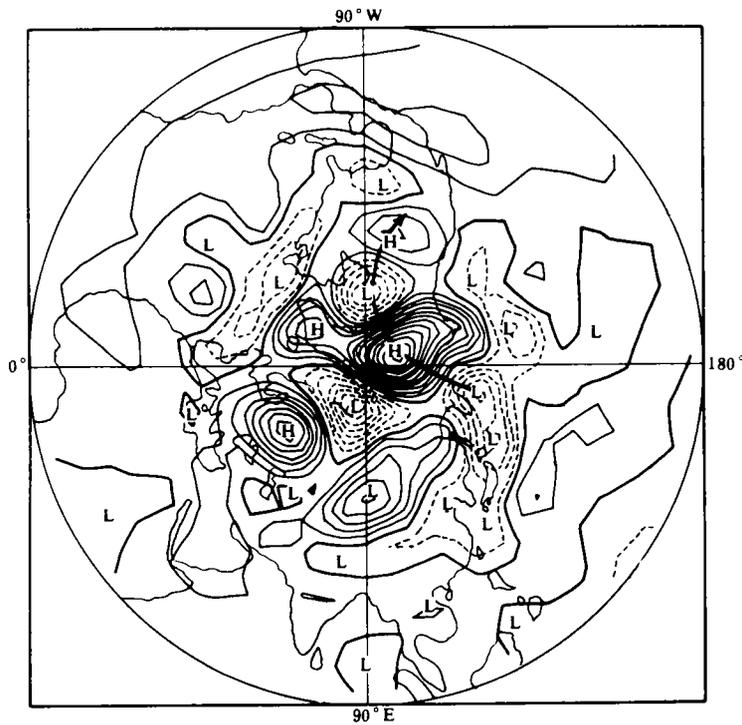


图5 I区极冰偏多引起的200hPa高度场异常分布

## 2.5 CESST 偏暖、I区极冰偏多 (ANOM5) 试验

由图6可见, 当赤道中东太平洋海温偏暖, 同时I区海冰偏多时, 北半球夏季大气响应主要呈亚洲-北美型波列. 但和图2比较可知, 在亚洲大陆北部两者有明显差异. 在图6中这里仅为一个低中心控制, 其他波列中心基本类似, 而阿拉斯加北部有明显的增幅, 这再一次表明了赤道海温和北极海冰的叠加效应. 此时, 我国天气气候异常和图2基本类似, 主要体现了赤道中东太平洋海温偏暖的效应.

## 2.6 II区海冰偏多 (ANOM6) 试验

由图7可见, II区(即巴芬湾等区域)海冰偏多除使低层局地降温外, 在高层主要使加拿大上空温度降低、等压面下降, 在整个北半球也主要激发和前文所述类似的两支波列, 特别是亚洲-北美型波列和图2在地理位置上以及中高纬活动中心振幅上十分类似, 甚至对我国天气气候的影响和海温异常具有一致效应. 因此, 这一结果更进一步证实了海冰异常和赤道海温具有同等重要的作用.

上述6个数值试验的结果清楚地表明, 北极海冰面积异常对夏季北半球大气环流具有明显的气候效应. 当单独考虑CESST偏暖时, 北半球夏季大气主要产生亚洲-北美型响应; 若单独考虑IV区极冰偏多时, 除激发欧亚型波列外, 也可以激发亚洲-北美型; 若单独考虑I区极冰偏多, 则主要产生由局地指向美国南部的波列; 当单独考虑II区极冰偏多时, 大气也可以产生欧亚型和亚洲-北美型波列. 上述激发的波列基本具有同位相特征.

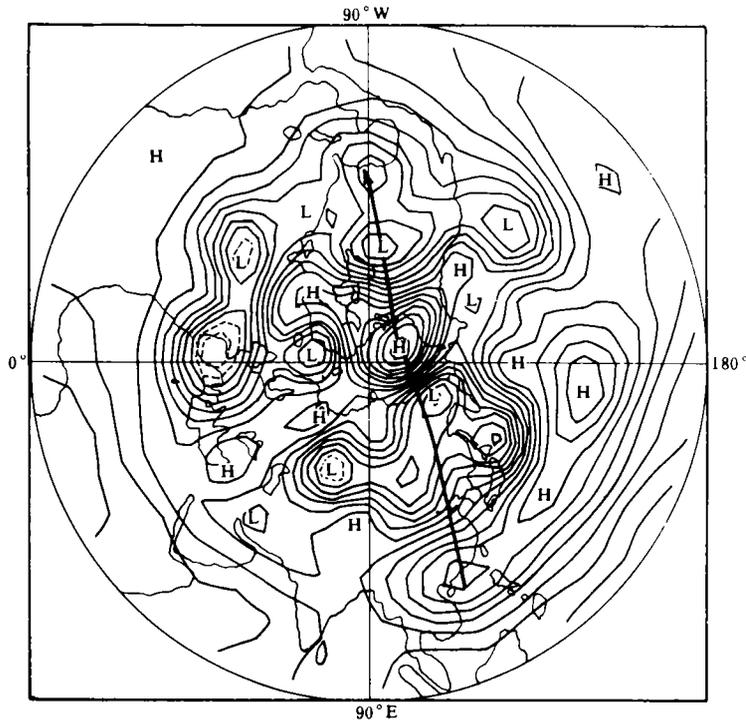


图6 CESST 偏暖和 I 区极冰偏多引起的200hPa 高度场异常分布

当 CESST 偏暖时,若同时出现海冰偏多,则大气的响应基本上表现为两者的同位相叠加作用,这种作用在亚洲-北美地区表现得最为突出,其结果往往使得亚洲-北美型的波列活动中心在某些地区显著地增幅.

CESST 偏暖和北极海冰偏多对我国夏季天气气候异常的影响也具有较为一致的作用,但纬度较高时表现为两者的叠加,纬度较低时主要体现了赤道海温的作用.

### 3 结论和讨论

本文通过数值模拟研究了赤道中东太平洋海温和北极不同区域海冰覆盖面积的异常对夏季北半球大气环流的影响,结果表明:

1. 赤道中东太平洋海温偏暖将激发亚洲-北美型波列,从而引起北半球夏季大气环流特别是东亚大气环流的异常.
2. 北极不同区域海冰面积偏大对大气环流有显著影响,这种影响和赤道海温具有同等重要作用,并且极冰偏多和赤道中东太平洋海温偏暖在亚洲-北美地区具有同位相效应.
3. 赤道中东太平洋海温偏暖,若同时北极海冰偏多,则大气除局地响应外,在亚洲-北美地区的响应表现为两者效应的叠加,即为增幅的亚洲-北美型波列响应.
4. 北极海冰偏多和赤道中东太平洋海温偏暖对我国天气气候异常的影响具有一致作用.
5. 亚洲-北美型和欧亚型两种遥相关是赤道海温和北极海冰引起北半球夏季大气环流异常的主要动力学途径.

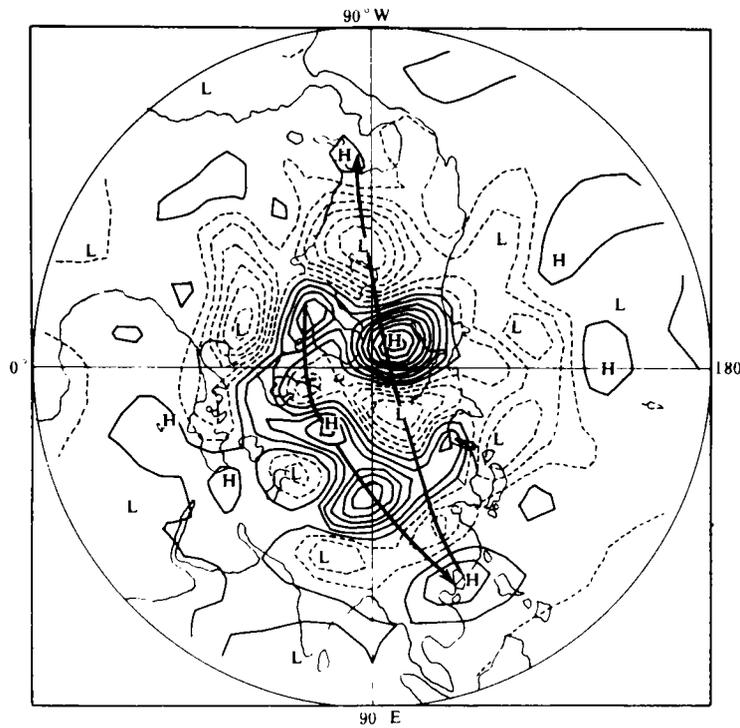


图7 I 区极冰偏多引起的200hPa 高度场异常分布

因此, 本文结果更进一步证实了赤道和极地之间热力差是影响大气环流的基本因子. 在赤道海温偏暖和极地海冰偏多的两个因子中, 任何一个因子的存在对中高纬环流影响均具有同位相效应, 而当两因子并存时大气表现为增幅的响应. 当然, 实际大气中往往表现为多因子的相互作用, 这也使得大气异常的成因变得更为复杂.

## 参考文献

- 1 符淙斌. 厄尼诺/南方涛动现象与年际气候变化. 大气科学, 1987, **11**, 209~220
- 2 Huang S. On basic factors determining the main features of the general circulation of the atmosphere. Scientia Sinica, 1958, **7**, 217~249
- 3 谢 倩, 黄土松. 冬季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的研究. 气象科学, 1990, **10**, 325~338
- 4 Bourke W *et al.* Global modelling of atmospheric flow by spectral methods. In: Methods in Computational Physics, Academic Press, 1977, 311~320
- 5 Simmonds I. Analysis of the "spinup" of a global circulation model. J. Geophys. Res., 1985, **90**, 5637~5660
- 6 Holloway T L and S Manabe. Simulation of climate by a general circulation model, I. Hydrologic cycle and heat balance. Mon. Wea. Rev., 1971, **99**, 330~370
- 7 许建民, 张德祥, 史久恩, 周琴芳. 北极逐月海面冰覆盖资料. 北京: 气象出版社, 1980.
- 8 Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. J. Meteor. Soc. Japan, 1987, **65**, 373~390
- 9 Huang R *et al.* Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia. In: Proceedings of the International Conference on the General Circulation of East Asia, Chengdu, China, 1987, 40~45
- 10 杨修群, 黄土松. 马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验. 气象科学, 1989, **9**, 125~138